

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Analisis *bibliometric* sederhana dilakukan oleh peneliti untuk mengetahui tren perkembangan penelitian mengenai penentuan potensi lokasi PLT-Angin dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, yaitu pada rentang tahun 2014 sampai dengan tahun 2024. Dengan menggunakan *database Scopus*, dan menggunakan kata kunci “*wind energy*” AND “*site selection*” diperoleh 159 artikel yang diterbitkan oleh jurnal-jurnal internasional bereputasi. Peneliti tidak melibatkan artikel-artikel yang bersumber dari makalah seminar (*proceedings*), *book chapter*, ataupun *book series* untuk analisis ini. Analisis *co-occurrence* (kata kunci) dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antara kata kunci atau konsep yang sering muncul bersama-sama dalam literatur ilmiah tentang penentuan potensi lokasi PLT-Angin. Analisis *co-occurrence* membantu dalam menggambarkan struktur topik dari bidang penelitian tertentu, memahami tren, dan menemukan hubungan antara topik-topik yang berbeda. Dengan menganalisis hubungan *co-occurrence* antara kata kunci atau konsep, peneliti dapat mengidentifikasi tema utama, sub-topik, dan koneksi antara berbagai aspek dalam penelitian ini. Visualisasi data hasil analisis *co-occurrence* ini dapat diamati pada **Gambar 2.1**.

Analisis *overlay visualization* juga dilakukan oleh peneliti untuk memahami *state of the art* dan mengidentifikasi gap penelitian dalam isu penentuan potensi lokasi PLT-Angin. Dengan memvisualisasikan pola hubungan antara berbagai topik atau konsep dalam literatur ilmiah, peneliti dapat mengamati topik yang paling diminati dan mengidentifikasi tren utama dalam penelitian terkini. Selain itu, analisis ini memungkinkan pengamatan terhadap kelompok topik atau kluster yang berkaitan erat, membantu dalam memahami arah perkembangan pengetahuan dalam bidang tersebut. Yang lebih penting lagi, *overlay visualization* memungkinkan peneliti untuk mengungkap *gap* penelitian dengan membandingkan

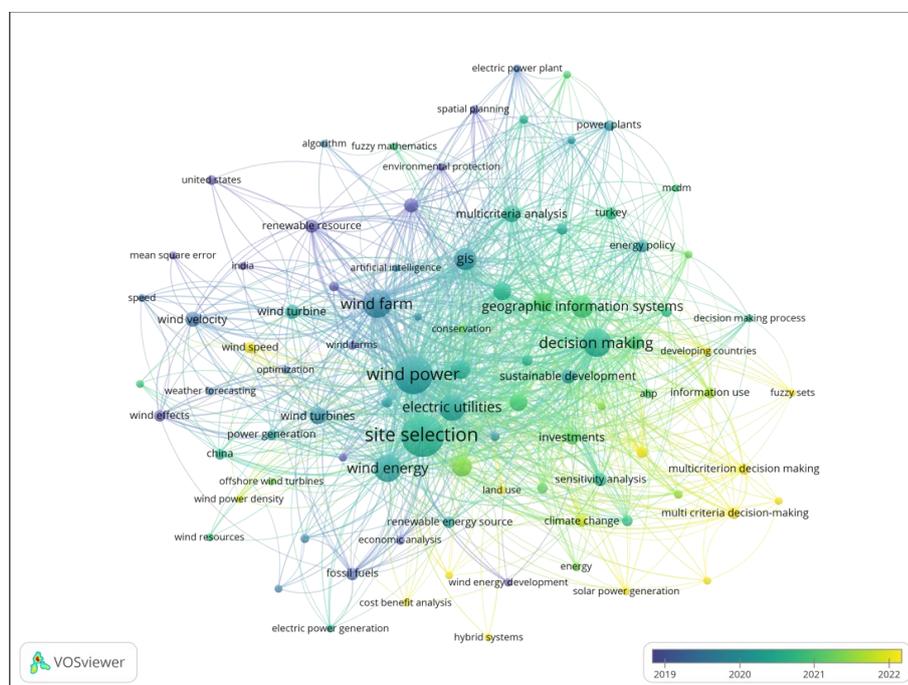
Attala Zaidan Ghaffar, 2025

PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu



efisiensi dan akurasi analisis. Faktor pertimbangan yang menjadi fokus utama meliputi sumber daya angin seperti kecepatan, kepadatan, dan variabilitas angin, pertimbangan lingkungan termasuk konservasi dan dampak lingkungan, faktor ekonomi seperti biaya-manfaat dan keberlanjutan, serta aspek sosial seperti penerimaan masyarakat dan infrastruktur. Lokasi fokus penelitian ini utamanya adalah Amerika Serikat, Tiongkok, dan India, dengan negara-negara berkembang juga memiliki potensi besar untuk pengembangan PLT-Angin. Turki juga menjadi contoh studi kasus yang sering dibahas. Tren dan perkembangan menunjukkan peningkatan penggunaan *artificial intelligence* (AI) dan GIS untuk meningkatkan presisi dan efisiensi analisis, fokus pada keberlanjutan dan konservasi, serta perhatian pada potensi besar energi angin lepas pantai. Pengambilan keputusan multikriteria juga menjadi penting. Analisis ini menunjukkan bahwa pengembangan PLT-Angin meningkat dengan pesat dengan fokus pada teknologi, keberlanjutan, dan pengambilan keputusan yang matang. GIS, AI, dan MCDM memainkan peran penting dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi penentuan lokasi PLTA angin yang optimal.



**Gambar 2.2.** *Overlay visualization* pada topik penelitian penentuan potensi lokasi PLT-Angin (Sumber: Hasil pengolahan data oleh peneliti)

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

**PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**  
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Tren penelitian dalam penentuan lokasi PLT-Angin dari tahun 2020 hingga 2024 menunjukkan perkembangan yang signifikan. Integrasi AI dan GIS menjadi fokus utama, dimana AI membantu dalam optimasi pemilihan lokasi sementara GIS memetakan potensi angin dengan lebih presisi. Selain itu, ada peningkatan fokus pada keberlanjutan dan konservasi, dengan penelitian yang mengeksplorasi dampak lingkungan PLT-Angin dan solusi untuk meminimalisirnya, serta pengembangan model prediksi untuk memaksimalkan energi angin dan meminimalisir pemborosan. Wilayah pesisir dan lepas pantai juga menjadi perhatian, dengan penelitian tentang potensi energi angin di sana serta analisis dampak lingkungan dan sosialnya. Pentingnya pengambilan keputusan multikriteria juga ditekankan, dengan pengembangan metode MCDM untuk mempertimbangkan berbagai faktor dalam pemilihan lokasi PLT-Angin. Selain itu, ada penelitian tentang topik baru seperti penerapan *Internet of Things* (IoT) dan *Big Data* untuk monitoring dan optimasi PLT-Angin, serta integrasi PLT-Angin dengan sistem energi cerdas. Secara keseluruhan, tren ini menunjukkan upaya yang terus meningkat dalam memaksimalkan potensi energi angin dengan memperhatikan aspek efisiensi, keberlanjutan, dan penerapan teknologi baru. Rincian lebih lengkap terkait penelitian-penelitian terdahulu dirangkum pada **Tabel 2.1**.

## **2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT-Angin)**

Banyak negara mulai beralih ke sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, *hidroelektrik*, dan biomassa. Sumber-sumber energi ini tidak hanya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga menawarkan solusi jangka panjang yang lebih ramah lingkungan (Ahmed *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2020). Pertumbuhan industri energi terbarukan sangat pesat dan menarik investasi besar dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, perusahaan swasta, dan investor internasional. Ini tercermin dalam peningkatan kapasitas instalasi energi terbarukan di banyak negara, yang berusaha mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain itu, kebijakan dan insentif dari pemerintah turut mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan, membuatnya semakin kompetitif

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

**PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

dibandingkan dengan sumber energi konvensional (Wang, 2023). Pemanfaatan energi terbarukan diharapkan dapat menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan, mengurangi dampak perubahan iklim, dan menyediakan energi yang bersih dan terjangkau bagi masyarakat. Upaya kolektif untuk mengatasi permasalahan lingkungan dan mencapai keberlanjutan ini menunjukkan komitmen global terhadap masa depan yang lebih hijau dan lebih sehat.

Pada tahun 2019, kapasitas terpasang global untuk sumber energi terbarukan mencapai 2.530 GW, dengan pembangkit listrik tenaga air memegang porsi terbesar, yakni 46,96% dari total kapasitas terpasang. Sumber energi utama yang berkontribusi terhadap kapasitas ini meliputi energi angin, energi matahari, *bioenergi*, energi panas bumi, dan energi kelautan. Di antara negara-negara, Tiongkok memiliki proporsi pembangkitan listrik tertinggi dari sumber energi terbarukan, diikuti oleh Amerika Serikat dan Brasil (L. Li *et al.*, 2022). Energi angin, khususnya, menunjukkan perkembangan yang sangat pesat dan menjanjikan, menghasilkan energi dalam jumlah besar dengan biaya yang semakin bersaing di pasar global. Pada tahun 2019, instalasi kapasitas PLT-Angin global melampaui angka 651 GW, dengan tambahan kapasitas sebesar 60,4 GW hanya dalam satu tahun tersebut (Summerfield-Ryan & Park, 2023; Wang *et al.*, 2023). Pertumbuhan ini mencerminkan peningkatan investasi dan dukungan kebijakan di berbagai negara yang berkomitmen untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengatasi perubahan iklim. Keberhasilan teknologi energi angin tidak hanya terbatas pada efisiensi dan kemampuan menghasilkan energi, tetapi juga pada dampaknya yang minimal terhadap lingkungan. Dengan potensi besar yang dimiliki oleh sumber energi terbarukan ini, masa depan energi dunia tampak lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Energi angin memanfaatkan energi kinetik udara dan mengubahnya menjadi energi listrik, sehingga menghasilkan sumber listrik yang berlimpah, gratis, dan ramah lingkungan. Proses ini melibatkan penggunaan turbin angin yang menangkap angin dan mengubahnya menjadi daya mekanis yang kemudian diubah menjadi

listrik (Crespo, 2023; Hannan *et al.*, 2023). Memasang turbin secara lokal sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi energi, ekonomi, dan lingkungan, karena penempatan yang tepat dapat memaksimalkan penangkapan angin dan mengurangi biaya transmisi listrik (Soares da Silva & Horlings, 2020).

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

No.	Judul dan Nama	Teknis dan Analisis	Tujuan	Hasil
1	Elmahmoudi, F., Abra, O. E., Raihani, A., Serrar, O., & Bahatti, L. (2019, April). <i>GIS based fuzzy analytic hierarchy process for wind energy sites selection</i> . In <i>2019 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)</i> (pp. 1-8). IEEE.	Pengambilan keputusan multi-kriteria dengan pendekatan berbasis GIS digunakan untuk memilih lokasi terbaik untuk energi angin	Membandingkan metode AHP dan Metode <i>Fuzzy</i> AHP untuk pengambilan keputusan dalam pemilihan lokasi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin.	Kedua metode menunjukkan bahwa kecepatan angin dan kemiringan adalah kriteria yang paling penting dalam proses pemilihan lokasi. Penelitian juga mengusulkan penggunaan GIS untuk mendukung pemilihan lokasi dalam investasi energi terbarukan.
2	Gao, J., Wang, Y., Huang, N., Wei, L., & Zhang, Z. (2022). <i>Optimal site selection study of wind-photovoltaic-shared energy storage power stations based on GIS and multi-criteria decision making: A two-stage framework</i> . <i>Renewable Energy</i> , 201, 1139-1162.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi GIS dan metode MCDM	Untuk mengusulkan model evaluasi dua tahap untuk pemilihan lokasi proyek penyimpanan energi bersama angin-fotovoltaik menggunakan GIS dan metode MCDM.	Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap tata letak proyek penyimpanan energi bersama angin-fotovoltaik dan memperluas aplikasi GIS dan metode MCDM di sektor energi terbarukan. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa faktor ekonomi memiliki bobot terbesar dalam kriteria pemilihan lokasi proyek.
3	Bouraima, M. B., Ayyildiz, E., Badi, I., Murat, M., Es, H. A., & Pamucar, D. (2024). <i>A decision support system for assessing the barriers and policies for wind energy deployment</i> . <i>Renewable and sustainable energy reviews</i> , 200, 114571.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa pendekatan MCDM, yaitu Entropy, AHP, TOPSIS, VIKOR, dan PROMETHEE. Metode Entropy digunakan untuk menghitung bobot objektif dari setiap kriteria dalam pengambilan keputusan tanpa intervensi manusia	Untuk mengembangkan pendekatan GIS berbasis MCDM untuk memilih lokasi optimal untuk PLT-Angin lepas pantai pada skala wilayah	Studi mengevaluasi 92 alternatif awal dan menyarankan bahwa Spanyol mungkin perlu mengevaluasi kembali target energi angin lepas pantai untuk tahun 2030 dan 2050. Metodologi ini mengintegrasikan produksi listrik bersih sebagai faktor kritis dalam pengambilan keputusan.

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Lanjutan Tabel 2.1.

No.	Judul dan Nama	Teknis dan Analisis	Tujuan	Hasil
4	Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., Firozjaei, M. K., Jelokhani-Niaraki, M., Homae, M., & Nematollahi, O. (2022). <i>The site selection of wind energy power plant using GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives</i> . <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 168, 112778.	Penelitian ini menerapkan pendekatan terintegrasi antara Sistem Informasi Geografis (GIS) dan Evaluasi Multi-kriteria (MCE) untuk mengidentifikasi lokasi optimal untuk instalasi turbin angin. Salah satu model MCE yang digunakan adalah <i>Ordered Weighted Averaging (OWA)</i> .	Bertujuan untuk mengintegrasikan pendekatan GIS-MCE dan model ekonomi untuk mengidentifikasi lokasi optimal dan mengestimasi harga pembelian listrik yang optimal dari pembangkit listrik tenaga angin.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa Provinsi Ardabil dan Khorasan Selatan memiliki area terbesar yang masuk ke dalam kelas "sangat sesuai" untuk instalasi turbin angin, baik dalam skala kecil maupun besar. Hasil menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga angin, baik skala besar maupun kecil, memiliki potensi ekonomi yang menarik jika harga pembelian listrik berada pada rentang yang direkomendasikan.
5	Yildiz, S. S. (2024). <i>Spatial multi-criteria decision making approach for wind farm site selection: A case study in Balikesir, Turkey</i> . <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 192, 114158.	Pendekatan <i>Spatial Multi-Criteria Decision Making (SMCDM)</i> berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS) dan <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i> untuk menentukan bobot kriteria.	Pendekatan pengambilan keputusan multi-kriteria spasial (SMCDM) berbasis sistem informasi geografis (GIS) untuk menentukan lokasi yang berpotensi untuk instalasi PLT-Angin di Balikesir, Turki.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa 2,34% dari total luas areal yang dipertimbangkan berada pada kelas yang paling sesuai, sedangkan 9,34% berada pada kelas paling sesuai berikutnya. Studi ini memperkenalkan kriteria pelabuhan untuk pertama kalinya pada tahun 2017 pemilihan lokasi turbin angin darat. Kriteria yang di butuhkan diantaranya yaitu Kriteria topografi, struktur, iklim, dan lingkungan yang terdiri dari kecepatan angin, jenis tutupan lahan, kemiringan lereng medan, dan jarak dari gardu induk, jaringan jalan, pemukiman, garis patahan, jaringan listrik, dan pelabuhan laut.

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Lanjutan Tabel 2.1.

No.	Judul dan Nama	Teknis dan Analisis	Tujuan	Hasil
6	Barzehkar, M., Parnell, K., Soomere, T., & Koivisto, M. (2024). <i>Offshore wind power plant site selection in the Baltic Sea. Regional Studies in Marine Science</i> , 73, 103469.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup GIS-LCOE, GIS-MCDA, AHP, fuzzy logic, WLC, dan TOPSIS	Mengidentifikasi lokasi yang sesuai untuk pembangunan PLT-Angin lepas pantai di Laut Baltik, menggunakan berbagai metode analisis dan parameter	Menunjukkan bahwa lokasi yang dekat dengan pantai dengan kecepatan angin tinggi dan kedalaman air yang dangkal adalah yang paling sesuai. Peta faktor kapasitas juga menunjukkan area potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin.
7	Yousefi, H., Moradi, S., Zahedi, R., & Ranjbar, Z. (2024). <i>Developed analytic hierarchy process and multi criteria decision support system for wind farm site selection using GIS: A regional-scale application with environmental responsibility. Energy Conversion and Management</i> : X, 22, 100594.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah integrasi AHP dan GIS faktor yang melibatkan analisis komprehensif faktor-faktor seperti aspek listrik, teknoekonomi, lingkungan, dan geo-infrastruktur.	Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi yang sesuai untuk pembangunan PLT-Angin berdasarkan berbagai kriteria dan menilai potensi untuk pembangkitan listrik dan pengurangan emisi CO2.	Penelitian berhasil mengidentifikasi lokasi yang sesuai untuk pembangunan PLT-Angin berdasarkan berbagai kriteria dan menilai potensi untuk pembangkitan listrik dan pengurangan emisi CO2. Pemilihan lokasi ladang angin melibatkan banyak faktor penting.
8	Şahin, G., Koç, A., & van Sark, W. (2024). <i>Multi-criteria decision making for solar power-Wind power plant site selection using a GIS-intuitionistic fuzzy-based approach with an application in the Netherlands. Energy Strategy Reviews</i> , 51, 101307.	Penelitian ini menggunakan berbagai metode pengambilan keputusan seperti AHP, <i>network analysis</i> , <i>entropy weighting</i> , CRITIC, <i>cloud modeling</i> , dan BWM, serta teknologi GIS untuk menilai investasi pada proyek-proyek energi terbarukan.	Mengoptimalkan penempatan proyek energi terbarukan di berbagai wilayah dengan menggunakan berbagai metode pengambilan keputusan dan teknologi seperti GIS, logika <i>fuzzy</i> , dan <i>multi-kriteria decision-making</i> .	Penelitian menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga air nomor 23 di China adalah yang paling cocok untuk investasi dalam sistem HWPS. Faktor yang digunakan yaitu alam, pasar, infrastruktur, lahan, masyarakat, dan lingkungan.

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Tingkat pembangkitan energi dari angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin dan kondisi iklim setempat, yang berarti bahwa daerah dengan angin yang konsisten dan kuat lebih ideal untuk instalasi turbin angin (Castorrini *et al.*, 2023). Namun, integrasi PLT-Angin dengan jaringan listrik berskala besar dapat menyebabkan ketidakstabilan, terutama jika pasokan energi dari angin berfluktuasi (Nair *et al.*, 2022). Meski energi angin menawarkan banyak keuntungan, biayanya masih lebih tinggi dibandingkan bahan bakar fosil karena investasi awal yang besar diperlukan untuk peralatan, pembangunan jalur transmisi, penggunaan lahan, dan pemeliharaan. Selain itu, ladang angin tidak selalu cocok untuk semua daerah, terutama yang memiliki kecepatan angin yang sangat tinggi atau batasan geografis tertentu (Kehinde Adeyeye & Colton, 2020; Ragheb, 2017; van Kooten, 2016). Meskipun demikian, dengan pengembangan teknologi yang terus berlangsung, energi angin memiliki potensi besar untuk menjadi pilar utama dalam upaya global menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan rendah karbon.

Karena diperlukannya investasi awal yang signifikan untuk pembangkit listrik tenaga angin, investor dan pembuat kebijakan di sektor ini secara aktif mencari alternatif untuk mengoptimalkan rasio biaya-manfaat dari proyek-proyek tersebut. Memilih lokasi yang selaras dengan aspirasi keuangan para pemangku kepentingan merupakan fase penting dari proyek ini. Proses pemilihan lokasi yang layak secara ekonomi dan efisien untuk PLT-Angin merupakan prosedur mahal dan kompleks yang bergantung pada banyak variabel (Asadi *et al.*, 2023; Shorabeh *et al.*, 2022). Identifikasi wilayah yang tepat tidak hanya mengandalkan potensi angin yang tinggi tetapi juga memerlukan analisis mendalam terhadap berbagai faktor lainnya. Faktor-faktor ini meliputi pembatasan geografis, seperti aksesibilitas dan stabilitas lahan, serta pertimbangan ekonomi yang mencakup biaya pembangunan dan pemeliharaan (Amsharuk & Łaska, 2022; Moradi *et al.*, 2020; Noorollahi *et al.*, 2016). Selain itu, masalah lingkungan seperti dampak terhadap ekosistem lokal dan fauna juga harus diperhitungkan, bersama dengan implikasi sosial yang mencakup dampak terhadap masyarakat setempat dan penerimaan publik terhadap proyek tersebut (Dutta *et al.*, 2021). Keseluruhan proses ini memerlukan koordinasi

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

**PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN**

**METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

yang ketat antara berbagai pemangku kepentingan untuk memastikan bahwa lokasi yang dipilih tidak hanya memenuhi kebutuhan teknis dan keuangan tetapi juga mendukung keberlanjutan jangka panjang dan penerimaan sosial. Dengan pendekatan yang komprehensif ini, diharapkan proyek-proyek PLT-Angin dapat mencapai efisiensi maksimal dan memberikan manfaat optimal, baik dari segi ekonomi maupun lingkungan.

Para peneliti melakukan analisis mendalam untuk menentukan lokasi yang paling cocok untuk ladang angin, dengan mempertimbangkan berbagai faktor penting seperti dampaknya terhadap lingkungan, wilayah perkotaan, dan instalasi militer. Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan data komprehensif mengenai faktor-faktor yang membatasi pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, menilai kelayakan lokasi yang dipilih, dan menganalisis pendekatan pengambilan keputusan yang efektif. Salah satu fokus utama penelitian adalah mitigasi dampak buruk terhadap masyarakat setempat, dengan mempertimbangkan potensi gangguan seperti kebisingan dan perubahan pemandangan yang dapat mempengaruhi kualitas hidup. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti dampak terhadap satwa liar, termasuk fauna dan flora, untuk memastikan bahwa pembangunan ladang angin tidak mengganggu ekosistem yang ada. Dengan mempertimbangkan aspek-aspek ini, peneliti berupaya menemukan solusi yang seimbang antara kebutuhan energi terbarukan dan pelestarian lingkungan. Pendekatan holistik ini melibatkan penggunaan teknologi pemetaan dan model simulasi untuk mengevaluasi potensi lokasi dan memprediksi dampak jangka panjang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan yang jelas bagi pembuat kebijakan dan investor dalam memilih lokasi ladang angin yang optimal, sehingga dapat memaksimalkan manfaat energi angin sambil meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat.

### **2.3. *Multi-Criteria Decision Making (MCDM)***

MCDM merupakan sebuah metodologi dalam pengambilan keputusan yang digunakan untuk mengatasi permasalahan yang melibatkan beberapa kriteria yang

sering kali saling bertentangan. MCDM membantu pengambil keputusan dalam mengevaluasi dan memilih alternatif terbaik berdasarkan sejumlah kriteria yang telah ditetapkan (Pohekar & Ramachandran, 2004). Teknik ini sangat bermanfaat dalam situasi di mana keputusan yang harus diambil bersifat kompleks dan melibatkan berbagai faktor, baik kualitatif maupun kuantitatif. Penggunaan MCDM memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dan sistematis, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih objektif dan rasional (Marttunen *et al.*, 2017).

Beberapa metode MCDM yang umum digunakan meliputi:

1. AHP: Metode ini menguraikan masalah keputusan menjadi hierarki kriteria dan sub-kriteria, memungkinkan penilaian relatif terhadap pentingnya setiap elemen melalui perbandingan berpasangan. AHP menghasilkan bobot untuk setiap kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi alternatif (Saaty, 2008). Mekanisme AHP dimulai dengan menetapkan tujuan utama, seperti memilih lokasi terbaik untuk pembangkit listrik tenaga angin, kemudian diikuti dengan identifikasi kriteria dan alternatif yang akan dievaluasi. Setiap kriteria dan alternatif dibandingkan secara berpasangan untuk menentukan kepentingan relatifnya, dan hasilnya diolah dalam bentuk matriks keputusan. Dari matriks ini, bobot prioritas dihitung untuk menilai pentingnya masing-masing elemen. AHP juga menguji konsistensi keputusan, dan jika hasilnya konsisten, alternatif dengan bobot tertinggi dipilih sebagai yang terbaik. AHP memungkinkan pengambilan keputusan yang terstruktur dan objektif berdasarkan berbagai kriteria (Asadi, Pourhossein, Noorollahi, *et al.*, 2023).
2. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS): TOPSIS mengevaluasi alternatif berdasarkan jarak mereka dari solusi ideal positif dan solusi ideal negatif. Alternatif yang memiliki jarak terdekat ke solusi ideal positif dan terjauh dari solusi ideal negatif dipilih sebagai alternatif terbaik (Hwang & Yoon, 1981). Mekanisme TOPSIS untuk menentukan lokasi PLT-Angin dimulai dengan mengidentifikasi kriteria dan

alternatif lokasi. Setelah itu, dibuat matriks keputusan yang dinormalisasi dan dibobotkan sesuai kepentingan tiap kriteria. TOPSIS kemudian menentukan solusi ideal positif (nilai terbaik) dan solusi negatif (nilai terburuk). Jarak antara setiap alternatif dengan solusi ideal positif dan negatif dihitung, dan alternatif yang paling dekat dengan solusi ideal positif dipilih sebagai yang terbaik. Akhirnya, alternatif diberi peringkat, dan lokasi dengan peringkat tertinggi dianggap sebagai lokasi optimal (Xie & Zhang, 2023).

3. *Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE)*: Metode ini menggunakan konsep dominasi dan mengidentifikasi alternatif yang mengungguli lainnya berdasarkan sejumlah kriteria, memungkinkan pengambil keputusan untuk mempersempit pilihan ke alternatif yang lebih unggul (B. Roy, 1991). Mekanisme ELECTRE dalam pengambilan keputusan multi-kriteria dimulai dengan mengidentifikasi alternatif dan kriteria yang relevan, kemudian membuat matriks keputusan yang berisi nilai setiap alternatif untuk tiap kriteria. Matriks ini dinormalisasi dan diberi bobot sesuai dengan tingkat kepentingan kriteria. Selanjutnya, dibangun matriks *concordance*, yang menunjukkan keunggulan alternatif satu terhadap yang lain, dan matriks *discordance*, yang menunjukkan kelemahan alternatif dibandingkan alternatif lain. Dari kedua matriks ini, dihitung matriks dominasi untuk mengidentifikasi alternatif mana yang mendominasi. Alternatif yang didominasi akan dieliminasi secara bertahap, hingga tersisa alternatif terbaik yang diperingkat berdasarkan kriteria yang tersisa. Metode ini membantu menyaring alternatif terbaik dalam situasi multi-kriteria yang kompleks (Taherdoost & Madanchian, 2023).
4. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)*: Metode ini menggunakan fungsi preferensi untuk mengevaluasi dan mengurutkan alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, memungkinkan pengambil keputusan untuk melihat perbandingan secara langsung (Brans & Vincke, 1985). Mekanisme

PROMETHEE dimulai dengan mengidentifikasi alternatif dan kriteria, lalu membuat matriks keputusan yang berisi nilai setiap alternatif untuk tiap kriteria. Setiap alternatif dibandingkan secara berpasangan menggunakan fungsi preferensi yang ditetapkan untuk tiap kriteria. Hasil perbandingan ini menghasilkan nilai preferensi untuk setiap alternatif terhadap yang lain. Selanjutnya, dihitung *flow* positif (seberapa besar alternatif lebih baik dari yang lain) dan *flow* negatif (seberapa buruk alternatif dibandingkan yang lain). Alternatif dengan nilai net *flow* tertinggi dianggap sebagai pilihan terbaik. PROMETHEE memfasilitasi pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan preferensi pengambil keputusan dalam situasi multi-kriteria (P. Li *et al.*, 2022).

5. Fuzzy MCDM: Menggunakan logika *fuzzy* untuk menangani ketidakpastian dan variabilitas dalam data kriteria, memungkinkan evaluasi yang lebih fleksibel dan realistis dalam pengambilan keputusan (Kahraman *et al.*, 2015). Mekanisme Fuzzy MCDM menggabungkan metode MCDM tradisional dengan teori himpunan *fuzzy* untuk menangani ketidakpastian dan subjektivitas. Langkah-langkahnya dimulai dengan mengidentifikasi alternatif dan kriteria, lalu memberikan nilai *fuzzy* untuk setiap alternatif. Matriks keputusan dinormalisasi dan setiap kriteria diberi bobot *fuzzy*. Selanjutnya, nilai *fuzzy* dari tiap alternatif diakumulasi dan dihitung, lalu dilakukan defuzzifikasi untuk mengubah nilai *fuzzy* menjadi angka pasti. Alternatif dengan skor tertinggi setelah defuzzifikasi dipilih sebagai pilihan terbaik. Metode ini cocok digunakan ketika terdapat ketidakpastian dalam penilaian (Abdullah *et al.*, 2023).

MCDM sering digunakan dalam pemilihan lokasi proyek energi terbarukan karena proses ini melibatkan banyak faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti potensi sumber daya energi, kondisi geografis, dampak lingkungan, biaya, infrastruktur, dan dukungan sosial-ekonomi (Løken, 2007). Dengan menggunakan MCDM, pengambil keputusan dapat mengintegrasikan berbagai faktor ini untuk menentukan lokasi yang optimal (Aras *et al.*, 2004). Salah satu contoh aplikasi

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN  
METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

MCDM dalam pemilihan lokasi adalah penggunaan AHP untuk mengevaluasi dan membobotkan kriteria seperti intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, ketersediaan lahan, dan jarak ke jaringan listrik. TOPSIS kemudian dapat digunakan untuk menentukan lokasi yang memiliki karakteristik paling dekat dengan solusi ideal (Sánchez-Lozano *et al.*, 2016). Metode *Fuzzy* MCDM juga diterapkan untuk menangani ketidakpastian dalam data meteorologi dan ekonomi, menghasilkan analisis yang lebih robust (Aydin *et al.*, 2013).

#### 2.4. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

AHP merupakan sebuah metode pengambilan keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970-an (Saaty, 1990). AHP digunakan untuk membantu pengambil keputusan dalam menghadapi situasi yang kompleks dengan banyak kriteria dan alternatif (Vaidya & Kumar, 2006). Prinsip dasar AHP melibatkan dekomposisi masalah keputusan ke dalam hierarki, yang terdiri dari tujuan, kriteria, sub-kriteria, dan alternatif (Saaty, 2008). Dengan membandingkan elemen-elemen ini secara berpasangan (*pairwise comparison*), AHP memungkinkan pengambil keputusan untuk menilai dan memprioritaskan elemen-elemen tersebut berdasarkan penilaian subjektif mereka (Ishizaka & Labib, 2011). Hasil akhir dari AHP adalah urutan prioritas atau bobot yang menunjukkan kepentingan relatif dari setiap elemen dalam mencapai tujuan (Forman & Gass, 2001).

Penerapan AHP melibatkan beberapa tahapan yang sistematis (Saaty, 2008). Pertama, masalah harus didefinisikan dengan jelas dan diuraikan menjadi hierarki yang terdiri dari tujuan, kriteria, sub-kriteria, dan alternatif (Cho *et al.*, 2019). Kedua, pengambil keputusan melakukan perbandingan berpasangan antara elemen-elemen dalam setiap tingkat hierarki (Dweiri *et al.*, 2016). Ketiga, matriks perbandingan berpasangan dibuat dan konsistensi penilaian diperiksa (Ishizaka & Labib, 2011). Keempat, nilai *eigen* dan vektor *eigen* dihitung untuk menentukan bobot atau prioritas relatif dari elemen-elemen tersebut (Brunelli, 2014). Kelima, bobot ini kemudian digabungkan di seluruh tingkat hierarki untuk menghasilkan

urutan prioritas keseluruhan dari alternatif-alternatif yang ada (Saaty, 2008). Terakhir, analisis sensitivitas dapat dilakukan untuk memeriksa bagaimana perubahan dalam penilaian dapat mempengaruhi hasil akhir (Maleki & Zahir, 2013).

AHP memiliki beberapa keuntungan yang membuatnya menjadi alat yang sangat berguna dalam pengambilan keputusan. Pertama, AHP memungkinkan dekomposisi masalah yang kompleks menjadi elemen-elemen yang lebih sederhana dan mudah dikelola (Saaty, 1990). Kedua, metode ini memperhitungkan penilaian subjektif dan intuisi pengambil keputusan dengan cara yang terstruktur dan konsisten (Forman & Gass, 2001). Ketiga, AHP memungkinkan analisis yang transparan dan dapat direplikasi, sehingga hasilnya dapat dipertanggungjawabkan (Ramanathan, 2001). Keempat, AHP mendukung analisis sensitivitas, yang membantu dalam memahami dampak dari perubahan penilaian terhadap hasil keputusan (Ishizaka & Labib, 2009).

Namun, AHP juga memiliki beberapa keterbatasan (Leung & Cao, 2000). Pertama, proses perbandingan berpasangan dapat menjadi sangat memakan waktu dan membingungkan, terutama ketika melibatkan banyak kriteria dan alternatif (Harker & Vargas, 1990). Kedua, hasil AHP sangat bergantung pada konsistensi penilaian pengambil keputusan; ketidakkonsistenan dapat mengurangi akurasi hasil (Kwiesielewicz & van Uden, 2004). Ketiga, penilaian subjektif dapat menyebabkan bias, yang dapat mempengaruhi validitas hasil akhir. Terakhir, AHP mungkin kurang efektif dalam situasi yang memerlukan penilaian kualitatif yang sangat rinci atau dalam masalah dengan data yang sangat dinamis (Dyer, 1990).

Dalam konteks energi terbarukan, AHP sering digunakan untuk menentukan lokasi optimal untuk proyek energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya atau angin (Sánchez-Lozano et al., 2016). Proses ini melibatkan identifikasi kriteria penting, seperti potensi sumber daya energi, biaya, dampak lingkungan, dan infrastruktur yang ada (Kaya & Kahraman, 2010). Dengan menggunakan AHP, pengambil keputusan dapat menilai pentingnya masing-masing kriteria dan

membandingkan berbagai lokasi potensial. Misalnya, kriteria seperti intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, aksesibilitas lokasi, dan jarak ke jaringan listrik dapat dibandingkan secara berpasangan untuk menentukan lokasi yang paling sesuai untuk proyek energi terbarukan (Aragonés-Beltrán *et al.*, 2010).

Sebagai contoh, dalam pemilihan lokasi untuk pembangkit listrik tenaga surya, AHP dapat membantu mengidentifikasi lokasi yang optimal dengan mempertimbangkan berbagai faktor (Uyan, 2013). Pertama, hierarki dibuat dengan tujuan utama memilih lokasi terbaik (Saaty, 2008). Kriteria yang mungkin dipertimbangkan termasuk radiasi matahari, biaya lahan, akses ke infrastruktur, dan dampak lingkungan (Noorollahi *et al.*, 2016). Sub-kriteria mungkin mencakup aspek spesifik seperti tingkat ketersediaan lahan atau potensi konflik dengan penggunaan lahan lainnya (Al Garni & Awasthi, 2017). Pengambil keputusan kemudian melakukan perbandingan berpasangan untuk masing-masing kriteria dan sub-kriteria (Asakereh *et al.*, 2017). Hasilnya adalah urutan prioritas lokasi yang memungkinkan pemilihan lokasi yang paling efisien dan efektif (Tahri *et al.*, 2015).

AHP juga dapat diintegrasikan dengan teknologi lain, seperti GIS dan *Fuzzy Logic*, untuk meningkatkan akurasi dan objektivitas hasil keputusan (Kumar *et al.*, 2017). GIS memungkinkan visualisasi dan analisis data spasial, sementara *Fuzzy Logic* membantu menangani ketidakpastian dan variabilitas dalam data (Charabi & Gastli, 2011). Integrasi ini memungkinkan pengambil keputusan untuk melakukan analisis yang lebih komprehensif dan mempertimbangkan berbagai faktor secara simultan (Aydin *et al.*, 2013). Dalam konteks energi terbarukan, kombinasi AHP dengan GIS dan *Fuzzy Logic* dapat membantu dalam pemilihan lokasi yang lebih tepat dan efisien, sehingga meningkatkan keberlanjutan dan ketahanan energi (Sánchez-Lozano *et al.*, 2014).

## **2.5. Geographic Information Systems (GIS)**

GIS adalah sebuah sistem yang dirancang untuk menangkap, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, mengelola, dan menyajikan data geografis atau data spasial (Maliene *et al.*, 2011). GIS memungkinkan integrasi berbagai jenis data

yang memiliki komponen geografis, sehingga memfasilitasi analisis yang komprehensif dan visualisasi yang informatif (Heywood et al., 2011). Fungsi utama GIS meliputi pengumpulan data, penyimpanan dan pengelolaan basis data, analisis spasial, serta representasi data melalui peta dan grafik (Chang, 2019) . GIS digunakan dalam berbagai bidang untuk memetakan dan memahami pola, hubungan, dan tren dalam data geografis (Longley *et al.*, 2015) .

GIS memiliki peran yang sangat penting dalam perencanaan dan analisis spasial karena kemampuannya untuk mengintegrasikan dan menganalisis berbagai jenis data yang berkaitan dengan lokasi geografis (Yao, 2017). Dalam konteks perencanaan, GIS digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi lokasi yang sesuai untuk pembangunan, infrastruktur, dan pengembangan sumber daya (Sánchez-Lozano *et al.*, 2013). GIS memungkinkan perencanaan yang lebih efisien dengan memodelkan berbagai skenario dan mengevaluasi dampak dari keputusan yang diambil (Carver, 1991). Analisis spasial yang dilakukan oleh GIS meliputi analisis jaringan, analisis overlay, analisis ketersediaan lahan, dan analisis potensi risiko (Malczewski & Rinner, 2015) . Dengan GIS, pengambil keputusan dapat membuat peta tematik, yang memberikan gambaran visual dari data yang kompleks dan mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih baik (Jankowski, 1995).

GIS memiliki aplikasi yang luas dalam studi energi terbarukan, terutama dalam hal pemetaan potensi sumber daya energi, penentuan lokasi proyek energi, dan analisis dampak lingkungan (Resch *et al.*, 2014). Berikut adalah beberapa contoh aplikasi GIS dalam studi energi terbarukan:

1. Pemetaan Potensi Sumber Daya Energi: GIS digunakan untuk memetakan potensi sumber daya energi seperti intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, potensi biomassa, dan potensi hidro di berbagai lokasi (Angelis-Dimakis *et al.*, 2011). Pemetaan ini membantu dalam mengidentifikasi area yang paling cocok untuk pengembangan proyek energi terbarukan (Calvert *et al.*, 2013).

2. Penentuan Lokasi Proyek Energi: GIS membantu dalam analisis multi-kriteria untuk menentukan lokasi optimal bagi proyek energi terbarukan (Tegou *et al.*, 2010). Faktor-faktor seperti aksesibilitas, ketersediaan lahan, kedekatan dengan infrastruktur listrik, dan dampak lingkungan dapat dianalisis secara bersamaan menggunakan GIS (Aydin *et al.*, 2010).
3. Analisis Dampak Lingkungan: GIS digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari proyek energi terbarukan (Tsoutsos *et al.*, 2005). Analisis ini meliputi identifikasi area sensitif secara ekologis, analisis risiko terhadap habitat satwa liar, dan penilaian dampak visual dari infrastruktur energi (Rodrigues *et al.*, 2010).
4. Integrasi dengan Teknologi MCDM: GIS dapat diintegrasikan dengan teknologi *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) seperti AHP dan *Fuzzy Logic* untuk meningkatkan akurasi dan objektivitas dalam pemilihan lokasi proyek energi terbarukan (Sánchez-Lozano *et al.*, 2016). Integrasi ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai faktor dan ketidakpastian dalam data (Noorollahi *et al.*, 2016).

Dengan kemampuan untuk mengintegrasikan, menganalisis, dan memvisualisasikan data geografis, GIS menjadi alat yang sangat berharga dalam studi dan pengembangan energi terbarukan (Voivontas *et al.*, 1998). GIS membantu memastikan bahwa proyek energi terbarukan ditempatkan di lokasi yang paling optimal, sehingga meningkatkan efisiensi, mengurangi dampak lingkungan, dan mendukung keberlanjutan energi (van Haaren & Fthenakis, 2011).

## **2.6. Analisis Geospasial untuk Pemetaan Kelayakan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

GIS memiliki peran yang krusial dalam pemetaan kelayakan lokasi pembangkit listrik tenaga angin dengan mempertimbangkan berbagai faktor geospasial yang mempengaruhi efisiensi dan keberlanjutan proyek tersebut. Analisis geospasial dalam konteks ini melibatkan beberapa aspek utama:

Attala Zaidan Ghaffar, 2025

PEMETAAN KESESUAIAN LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN METODE MCDM (KOMBINASI AHP - GIS) DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT  
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

1. Pemetaan Kecepatan dan Konsistensi Angin: GIS digunakan untuk menganalisis kecepatan angin berdasarkan data dari stasiun meteorologi atau model atmosfer global. Dengan interpolasi spasial, dapat dibuat peta distribusi kecepatan angin pada ketinggian turbin tertentu, yang menjadi dasar dalam menentukan lokasi yang optimal untuk pembangkit listrik tenaga angin.
2. Analisis Topografi dan Elevasi: Elevasi dan kemiringan lahan berpengaruh terhadap kecepatan dan turbulensi angin. GIS memungkinkan analisis Digital Elevation Model (DEM) untuk mengidentifikasi daerah dengan kondisi topografi yang mendukung kecepatan angin yang optimal dan minim gangguan turbulensi.
3. Ketersediaan Lahan dan Pembatasan Regulasi: GIS membantu dalam mengidentifikasi area yang dapat digunakan berdasarkan regulasi penggunaan lahan, seperti zona pemukiman, kawasan lindung, dan batas wilayah industri. Dengan teknik overlay, GIS memungkinkan integrasi berbagai lapisan data untuk menemukan area yang sesuai.
4. Analisis Jaringan dan Aksesibilitas: Faktor infrastruktur seperti kedekatan dengan jaringan listrik dan akses transportasi sangat penting dalam pemilihan lokasi pembangkit listrik tenaga angin. GIS digunakan untuk menganalisis jarak antara calon lokasi dengan jaringan listrik eksisting serta mengoptimalkan jalur transportasi untuk pemasangan turbin angin .
5. Analisis Dampak Sosial dan Lingkungan: GIS digunakan untuk mengevaluasi dampak potensial terhadap masyarakat sekitar, termasuk kebisingan dan dampak visual dari turbin angin. Selain itu, analisis dampak lingkungan dilakukan untuk memastikan bahwa pembangunan tidak mengganggu ekosistem lokal atau kawasan lindung. Penggunaan Algoritma Multi-Kriteria untuk Optimasi Lokasi:
6. GIS dapat diintegrasikan dengan metode Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) seperti Analytic Hierarchy Process (AHP) dan Fuzzy Logic untuk menimbang berbagai faktor dalam pemilihan lokasi. Pendekatan ini

meningkatkan akurasi dalam penentuan lokasi optimal dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan secara bersamaan.

Dengan menggunakan GIS untuk analisis geospasial yang lebih rinci, pemetaan kelayakan lokasi PLT-Angin dapat dilakukan dengan lebih akurat dan efisien. Hal ini tidak hanya meningkatkan efektivitas produksi energi angin tetapi juga memastikan keberlanjutan dan dampak lingkungan yang minimal. GIS menjadi alat yang sangat berharga dalam perencanaan energi terbarukan, membantu pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan berbasis data yang lebih baik dan strategis.